

**JURNAL**  
**ANALISA TEGANGAN EKSPANSI PADA PIPA SEAMLESS CARBON STEEL**  
**(ASTM SA 106)**



**Disusun oleh :**

**Nama : Romy Ariyanto**

**Nim : 1811913**

**PROGARAM STUDY TEKNIK MESIN S-I**  
**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**  
**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**  
**2020**

## **ABSTRAK**

Romy Ariyanto. 2020. Analisa Tegangan Ekspansi Pipa Seamless Carbon Steel ASTM SA106. Laporan Skripsi. Institut Teknologi Nasional Malang. Fakultas Teknologi Industri. Teknik Mesin S-1.

Dosen Pembimbing : Ir. Anang Subardi, MT

Perancangan sistem perpipaan yang baik dan aman sangat dibutuhkan untuk menjamin kelangsungan dari proses serta menjamin umur pemakaian dari sistem perpipaan dengan siklus rancangan. Parameter aman sendiri adalah ketika pipa mampu menahan beratnya sendiri pada kondisi pembebanan karena tekanan pipa internal dan berat yang terdapat pada pipa serta karena pembebanan pengaruh temperature. Dilakukan analisa untuk mengetahui nilai tegangan pada desain pipa yang telah dirancang dengan menggunakan jenis pipa seamless ASTM SA106 yang dialiri fluida solar dan memvariasikan tekanan fluida sebesar 15 bar, 30 bar, 45 bar, 60 bar dan 75 bar. Dalam skripsi ini analisa menggunakan alat bantu Caesar II maka didapat data tegangan high stress loadcase L8 = L2-L6 adalah 1412,9457 lb.sq.in dengan tekanan 70 bar pada node 240. High stress loadcase L9 = L4-L7 adalah 1774,1150 lb.sq.in dengan tekanan 70 bar pada node 430. High stress L10 = L2-L4 adalah 2120,1547 lb.sq.in dengan tekanan pada node 240. Hasil nilai tegangan yang didapat dari output Caesar II menunjukkan bahwa tegangan yang terjadi tidak melebihi batas aman yang telah ditetapkan B31,3 yaitu 3000,0000 dan desain rancangan pipa aman untuk dioperasikan

**Kata Kunci : Pipa Seamless Carbon Steel ASTM SA106 ,Tegangan Ekspansi, Pengaruh Tekanan, Batas Aman.**

## **BAB 1. PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Piping adalah jalur perpipaan yang menghubungkan antara line dalam satu plant produksi. Piping mempunyai jalur perpipaan yang menghubungkan antara line dalam satu tempat ke tempat lainnya. Fluida yang berada didalamnya berupa gas, air ataupun Vapour yang mempunyai temperature tertentu.

Karena umumnya material pipa terbuat dari metal, maka sesuai dengan karakteristiknya, pipa akan mengalami pemuaian jika dipanaskan dan akan mengalami pengerutan apabila didinginkan. Setiap terjadi pemuaian ataupun pengerutan dari pipa tadi, akan menimbulkan pertambahan ataupun pengurangan panjang pipa dari ukuran semula dalam skala horizontal.

Perancangan sistem perpipaan yang baik dan aman sangat dibutuhkan untuk menjamin kelangsungan dari proses serta menjamin umur pemakaian dari sistem perpipaan dengan siklus rancangan. Parameter aman sendiri adalah ketika pipa mampu menahan beratnya sendiri pada kondisi pembebanan karena tekanan pipa internal dan berat yang terdapat pada pipa serta karena pembebanan pengaruh temperature. Namun, kenyataannya dilapangan masih ditemukan kegagalan kegagalan yang terjadi pada sistem pipa, baik pada saat instalasi maupun operasi. (*Ir. Raswari,*

*Teknologi dan Perencanaan sitem perpipaan).*

Hal tersebut bisa dipengaruhi oleh beberapa factor pembebanan yang terjadi selama pipa tersebut terpasang, bisa faktor pembebanan karena alam, pembebanan ketika pipa belum beroperasi maupun pembebanan ketika pipa telah beroperasi.

Untuk itu perlu adanya perhitungan analisis stress untuk mengetahui seberapa besar tegangan yang mampu diterima oleh pipa maupun equipmen pendukung agar tidak terjadi kegagalan.

Support adalah alat yang digunakan untuk menahan atau memegang sistem perpipaan.

Support dirancang untuk dapat menahan berbagai macam bentuk pembebanan baik karena desain dan berat pipa ( sustain load) serta karena temperature (Thermal load).

Penempatan support harus memperhatikan dari pergerakan sistem perpipaan terhadap profil pembebanan yang mungkin terjadi pada berbagai kondisi.

Karena betapa pentingnya peran dari pada support ini, maka perlu adanya sebuah perancangan yang baik untuk merancang desain pipe support agar mampu menahan tegangan dari berbagai macam pembebanan perancangan pipe support dan analisa tegangan mengacu pada code atau standart ANSI/ASME

B31.3. Dimana analisis tegangan dilakukan dengan menggunakan bantuan program CAESAR II.

### 1.2 Rumusan Masalah

1. Terjadinya stress pada pipa
2. Berapa besar tegangan pada loop ekspansi?

### 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini agar dapat berjalan sesuai dengan yang diinginkan maka permasalahan dibatasi sebagai berikut :

1. Dalam analisa model pipa digunakan standart ASME B31.1 Piping proses.
2. Faktor alam tidak diperhitungkan (Gempa, dll)
3. Data yang diperoleh adalah output dari software CAESAR II
4. Penelitian dilakukan dengan menggunakan software CAESAR II.

### 1.4 Tujuan

1. Menganalisa tegangan pada loop ekspansi
2. Menganalisa pengaruh loop ekspansi pada pipa.

### 1.5 Manfaat

Manfaat utama dari penyusunan skripsi ini adalah untuk mendapatkan penggunaan pipe support sampai analisa tegangan pipa sebuah perpipaan yang aman untuk operasi sesuai dengan code

dan standart yang ada. Dengan menggunakan program CAESAR II.

## BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Pipa

Pada dasarnya pipa berfungsi untuk mengalirkan fluida (zat cair, gas) dari satu atau beberapa titik ke satu atau beberapa titik lainnya.

Dalam mengalirkan fluida pipa tidak boleh bocor dan pengaliran fluida perlu ada perbedaan tekanan antara titik awal dan titik akhir, serta gesekan yang terjadi antara pipa dan fluida harus diatasi. (Parisher. *et al*, 2002)

Pipa dimanfaatkan dalam berbagai macam industri pada sebuah plant, baik itu LNG, pabrik petrokimia, Pupuk, Nuklir, Panas Bumi, Gas, dan lain-lain baik di *OnShore* maupun di *Offshore*.

Semua industri tersebut mempunyai dan membutuhkan instalasi pipa baik *pipeline* ataupun *piping*, (Smith. *et al*, 1987).

### 2.2 Piping Stress Analysis

Tujuan piping stress analisis untuk memastikan faktor *safety* dari semua komponen pipa, faktor *safety* dari semua komponen perpipaan dan alat bangun pendukung sistem perpipaan agar tidak melebihi batas aman sistem perpipaan,

Piping Enginer melakukan tindakan untuk mencegah kegagalan dengan melakukan stress analisis sesuai aturan

dalam dunia perpipaan. Beberapa kegagalan yang biasa terjadi dalam dunia perpipaan adalah sebagai berikut:

- Kegagalan karena material melebihi tegangan deformasi plastis
- Kegagalan karena material patah sebelum mencapai batas tegangan luluhnya

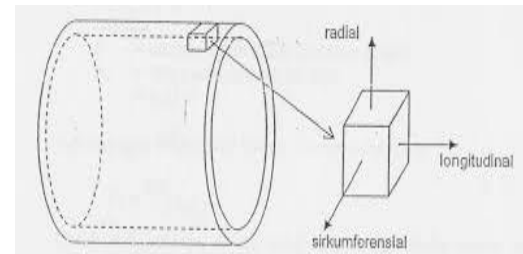
Static stress analisis dilakukan untuk memastikan perhitungan semua tegangan pada pipa tidak melebihi batas yang telah ditentukan. Para piping engineer menggunakan standart ASME B31.3 untuk dijadikan acuan batas aman dalam melakukan static stress analisis.

Dalam B31.3 telah mengatur semua masalah dalam dunia perpipaan mulai dari limitasi properties yang dibutuhkan, sampai pada pembebanan seperti kondisi tekanan, berat konstruksi dan komponen pendukungnya, impact, ekspansi termal, berubahnya suhu serta bergesernya posisi anchor

## 2.3 Tegangan Pipa

Tegangan adalah besaran vektor yang selain memiliki nilai juga mempunyai arah. Nilai dari tegangan didefinisikan sebagai gaya (F) per satuan luas (A). Untuk mendefinisikan arah pada tegangan pipa, sebuah sumbu prinsip pipa dibuat saling

tegak lurus seperti terlihat pada gambar di bawah ini



Sumbu yang terletak di bidang tengah dinding pipa dan salah satu arahnya yang sejajar dengan panjang pipa disebut sumbu *axial* atau *longitudinal*. sumbu yang tegak lurus terhadap dinding pipa dengan arahnya bergerak dari pusat pipa menuju keluar pipa disebut sumbu radial. sumbu yang sejajar dengan dinding pipa tapi tegak lurus dengan sumbu axial disebut dengan sumbu tangensial atau sirkumferensial.

Analisa Tegangan pipa adalah suatu metode terpenting untuk meyakinkan dan menetapkan secara numerik bahwa sistem perpipaan dalam *engineering* adalah aman, atau perhitungan tegangan pada sisitem perpipaan yang disebabkan beban statis atau dinamis dan yang disebabkan oleh rusltan gaya gravitasi, berubahnya temperatur, tekanan dalam dan luar pipa, jumlah debit fluida yang mengalir dan gaya seismik.

Analisa tegangan pipa dilakukan untuk memastikan0rute0pipa, beban pada

nozzle, dan penyangga (*support*) pipa telah dipilih dan diletakkan pada tempatnya yang menjadikan tegangan (*stress*) tidak melebihi batas tegangan aman yang telah ditentukan oleh Code dan *Standard Internasional* (ASME, ANSI, API, DNV dan lain-lain).

Melakukan sebuah analisa tegangan pipa biasanya para *piping engineer* memakai pendekatan *finite element method* dengan memakai beberapa *software* umum di dunia perpipaan yaitu caesar II,

### 2.3.1 Tegangan Normal

Tegangan normal adalah tegangan yang tegak lurus terhadap potongan bidang dan dapat berupa tegangan tarik (tensile stress) atau tegangan tekan (compressive stress)

### 2.4 Loop Ekspansi

Loop ekspansi merupakan salah satu alternatif pilihan untuk menjaga serta pula menjaga tekanan fluida pada kondisi desain. Loop ekspansi berfungsi untuk mengatasi pertambahan panjang akibat Expansion Thermal atau perubahan suhu yang mengakibatkan muai panjang pada pipa penyalur agar tidak mendesak PLEM (Pipe Line End Manifold) maka direncanakan suatu konfigurasi pipa yang dinamakan Loop ekspansi.

## 2.5 Jenis Beban Pada Sistem Pemipaan

Secara umum sistem pemipaan mengalami 2 jenis pembebanan yaitu beban *internal* dan beban *eksternal* (Smith. *et al*, 1987)

### 1. Beban *Internal*

Beban internal merupakan beban yang timbul karena efek dari berat pipa, tekanan dan temperature fluida. Beban internal yang bekerja pada sistem perpipaan antara lain, beban *sustain*, beban *ekspansi* dan beban *operasi*.

### 2. Beban *Eksternal*

Beban eksternal disebut juga dengan beban *occasional*, merupakan beban yang terjadi kadang-kadang dan timbul karena pergerakan angin, gelombang air laut, gempa bumi dan lain-lain.

Berikut penggolongan pembebanan pada sistem pemipaan berdasarkan pada jenis beban-beban yang terjadi, meliputi beban-beban *sustain*, beban *ekspansi*, beban *operasi* dan beban *occasional*

### 2.5.1 Beban *Sustain (Sustain Loads)*

Beban *sustain* adalah beban yang bekerja terus-menerus selama operasi. Beban ini merupakan kombinasi beban yang diakibatkan oleh tekanan internal dari fluida yang dialirkan dan beban berat

(berat fluida dan berat pipa). (Smith. *et al*, 1987).

### 2.5.2 Beban *Ekspansi Termal (Expansion Load)*

Beban *ekspansi* merupakan beban yang timbul akibat adanya perpindahan pada struktur pipa (*ekspansi termal*) pada sistem perpipaan. Beban *ekspansi termal* dapat dibagi menjadi 3 (Smith. *et al*, 1987):

- Beban *ekspansi termal* akibat pembatasan gerak oleh tumpuan saat pipa mengalami *ekspansi*.
- Beban *termal* akibat perbedaan temperatur yang besar dan sangat cepat dalam dinding pipa sehingga mampu menimbulkan tegangan.
- Beban akibat perbedaan koefisien *ekspansi* pipa yang tersusun dari dua atau lebih material logam yang berbeda.

Pada beban *ekspansi* terjadi tegangan normal maupun tegangan geser yang diakibatkan oleh adanya *ekspansi* material pipa akibat perbedaan temperatur pipa dengan temperatur lingkungan sekitar

Pada prinsipnya pada *thermal load*, yang paling berperan adalah adalah segala temperatur yang mungkin terjadi pada saat operasi termasuk kondisi awal pada saat *start up*. Beberapa hal yang

harus diperhatikan yang menjadi sumber utama pada *thermal load* adalah :

1. Temperatur desain yaitu besarnya temperatur maksimum yang dapat terjadi pada sistem perpipaan dalam kondisi operasi.
2. Pipa yang melengkung (*Pipe Bowing*)
3. Temperatur normal operasi
4. Temperatur ambient untuk menghitung variasi tegangan atau *stress range*.
5. *Steam out, steam tracing regeneration, decoke* dan *purging*
6. *Equipment expansion* dan lainnya

*Thermal load* akan menimbulkan stress yang tergolong dalam kelompok *secondary stress*.

### 2.5.3 Beban Operasi (*Operating Load*)

Beban operasi merupakan beban kombinasi dari beban *sustain* dan beban *termal*. Beban tersebut diterima oleh pipa selama operasi berlangsung.

Dengan kata lain Beban operasi dapat dituliskan sebagai berikut (Smith. *et al*, 1987). Beban operasi = Beban *sustain* + Beban *ekspansi*

### 2.5.4 Beban *Occasional (Occasional Load)*

Beban *occasional* adalah beban yang terjadi "kadang-kadang" selama operasi pada sistem perpipaan. Ada beberapa hal yang dapat menyebabkan timbulnya beban *occasional*, yaitu (Smith. *et al*, 1987)

## 2.6 Tegangan Yang Diizinkan (*Allowable Stress*)

*Allowable Stress* pada sistem pemipaan adalah merupakan fungsi dari sifat *material (material properties*

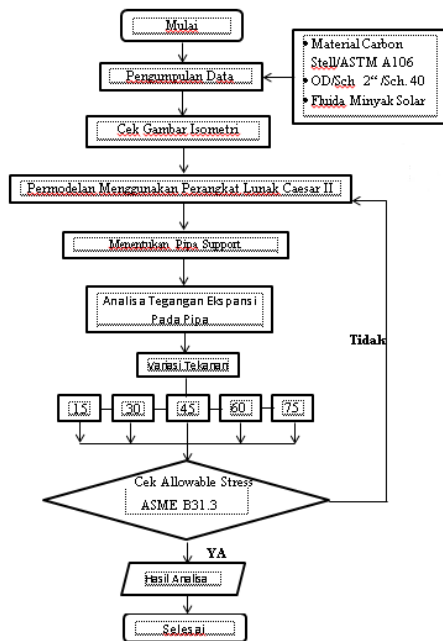
seperti pada *Yield Strength* atau juga *Tensile Strength*) pada temperatur dingin sampai temperatur tertentu dan faktor keamanan (*Safety factor*).

## Bab III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Adapun langkah dalam skripsi ini dapat ditunjukkan pada diagram dibawah ini :



#### 3.2 Alur Penelitian

a) Pengumpulan data dan informasi yang berkaitan analisa sistem perpipaan antara lain :

- Gambar isometric yang telah diuraikan dari gambar piping and Instrumen Diagram (P&ID)
- Data tentang tegangan maksimum yang diijinkan pada piping dan pipe support.
- Dan data lain yang dibutuhkan untuk analisa CAESAR II

b) Cek Gambar Isometri / Layout, yaitu melihat gambar isometric untuk mendapatkan data yang dibutuhkan dalam perhitungan CAESAR II seperti : Jenis fluida, Line number, Rating class, pipe size, Operation Pressure, Operation Temperatur, Design Pressure, Design Temperatur, Density, SCH, Thichness, Presure Test, Insulation Code, Insulation Thichness, PWHT, NDE (Non Destructive Examination / Radiograpy Test).

c) Memasukkan data mengenai system perpipaan pada line didalam CAESAR II. Tahap-tahap mendesain sebuah line pada CAESAR II adalah :

- Didesain line piping dengan memperhitungkan NPS pipa, tebal pipa, temperature ambient, fluid density, tebal insulasi, material pipa, rating class pipa.
- Kemudian pada sistem perpipaan tersebut digambarkan komponen



perpipaan yang terdapat pada line, seperti valve, flange, elbow, reducer, tee. Dalam memasukan komponen dalam perpipaan tersebut juga diperhitungkan berat komponen tersebut dan dimensinya juga.

- Memasukan node pada sistem pipa.
  - Memasukan jenis pipe support yang akan digunakan.
- d) Menganalisa tegangan, yang terjadi pada masing-masing pipe support dengan variasi tekanan dengan sebesar 15, 30, 45, 60, dan 75 bar menggunakan perangkat lunak CAESAR II.
- e) Dalam operasinya piping terdapat berbagai jenis load yang terjadi pada sistem perpipaan.
- f) Kemudian mencocokkan data yang diperoleh dengan Allowable stress yaitu batasan tegangan yield pada ASME B31.3, jika ada salah satu pipe support yang memiliki tegangan yang melebihi batas allowance maka akan dilakukan permodelan ulang pipe support.
- g) Kesimpulan dan saran.

## BAB IV

### ANALISA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Spesifikasi Pipa

Material pipa : ASTM A106 gr B

Panjang pipa : 263, 80 m

Diameter luar pipa : 2 in / Sch 40

Ambient temperatur: 30 °C

Density pipa : 7,85 kg/m<sup>3</sup>

#### 4.2 Spesifikasi Fluida

Jenis fluida : Minyak Solar

Temperatur fluida : 18 °C

Densitas fluida : 0,832 kg/l

#### 4.3 Tegangan *High stress* Ekspansi Pada Sistem Pemipaan

Tegangan *high stress* ekspansi yang terjadi pada sistem desain pipa dengan memperhitungkan batas aman pada semua tegangan yang terjadi.

Tabel 4.1 di adalah nilai tegangan beberapa *loadcase* yang terjadi pada desain pipa dengan tekanan sebesar 15 bar

Tabel 4.1 high stress P15

Loadcase	Node	Code Stress lb.sq.in	Allowable
L8 = L2-L6	240	1165,1140	3000,0000
L9 = L4-L7	430	979,7852	3000,0000
L10 = L2-L4	240	1184,4610	3000,0000

Tegangan ekspansi yang terjadi dengan tekanan sebesar 15 bar masih dalam tahap aman dan desain dapat dioptimalkan.

Tabel 4.2 adalah nilai tegangan beberapa *loadcase* yang terjadi pada

desain pipa dengan tekanan sebesar 30 bar

Tabel 4.2 High Stress P30

Loadcase	Node	Code Stress lb.sq.in	Allowable
L8 = L2-L6	240	1172,6090	3000,0000
L9 = L4-L7	430	1179,2020	3000,0000
L10 = L2-L4	240	1392,1200	3000,0000

Tegangan ekspansi yang terjadi dengan tekanan sebesar 30 bar masih dalam tahap aman dan desain dapat dioperasikan.

Tabel 4.3 adalah nilai tegangan beberapa *loadcase* yang terjadi pada desain pipa dengan tekanan sebesar 45 bar

Tabel 4.3 High Stress P45

Loadcase	Node	Code Stress lb.sq.in	Allowable
L8 = L2-L6	240	1299,2570	3000,0000
L9 = L4-L7	430	1385,1150	3000,0000
L10 = L2-L4	240	1678,2710	3000,0000

Tegangan ekspansi yang terjadi dengan tekanan sebesar 45 bar masih dalam tahap aman dan desain dapat dioperasikan.

Tabel 4.4 adalah nilai tegangan beberapa *loadcase* yang terjadi pada desain pipa dengan tekanan sebesar 60 bar

Tabel 4.4 High Stress P60

Loadcase	Node	Code Stress lb.sq.in	Allowable
L8 = L2-L6	240	1350,2876	3000,0000
L9 = L4-L7	430	1530,1908	3000,0000
L10 = L2-L4	240	1890,9865	3000,0000

Tegangan ekspansi yang terjadi dengan tekanan sebesar 60 bar masih dalam tahap aman dan desain dapat dioperasikan.

Tabel 4.5 adalah nilai tegangan beberapa *loadcase* yang terjadi pada desain pipa dengan tekanan sebesar 75 bar

Tabel 4.5 High Stress P75

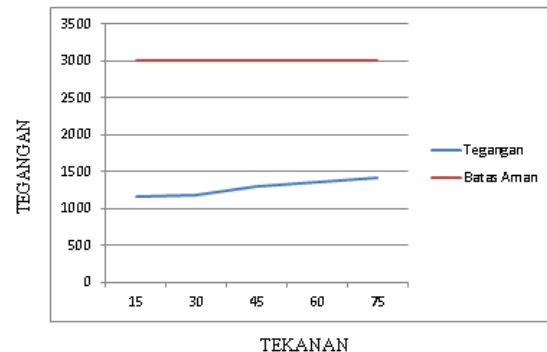
Loadcase	Node	Code Stress lb.sq.in	Allowable
L8 = L2-L6	240	1412,9457	3000,0000
L9 = L4-L7	430	1774,1150	3000,0000
L10 = L2-L4	240	2120,1547	3000,0000

Tegangan ekspansi yang terjadi dengan tekanan sebesar 75 bar masih dalam tahap aman dan desain dapat dioperasikan.

#### 4.4 Grafik Tegangan

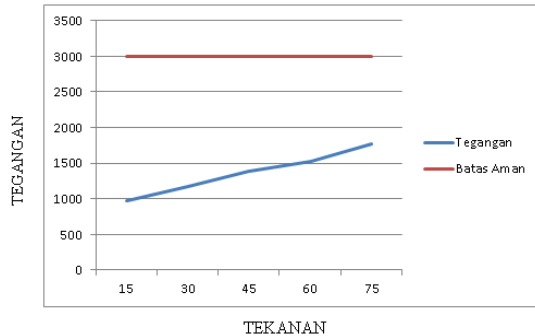
Dari tabel hasil diatas dapat dibuat menjadi grafik seperti dibawah

Grafik 4.1 Loadcase L8 = L2-L6



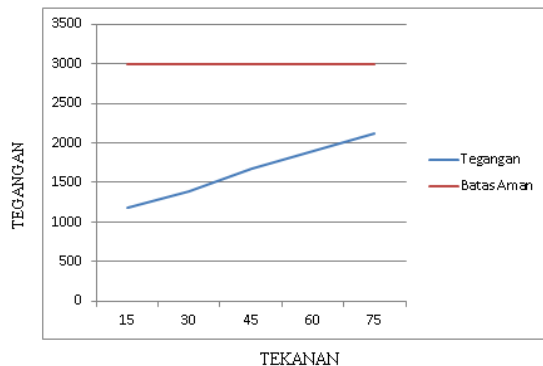
Grafik diatas adalah high stress desain pipa loadcase L8 = L2-L6 yang terjadi pada node 240.

Grafik 4.2 Loadcase L9 = L4-L7



Grafik diatas adalah high stress desain pipa loadcase L9 = L4-L7 yang terjadi pada node 430

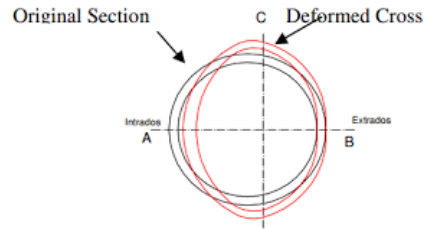
Grafik 4.3 Loadcase L10 = L2-L4



Grafik diatas adalah high stress desain pipa loadcase L10 = L2-L4 yang terjadi pada node 240

#### 4.5 Pipa Setelah Pembebana

Pipa yang dibebani oleh gaya akan mengalami perubahan bentuk yang diakibatkan oleh perubahan suhu atau bisa disebut dengan deformasi. Perubahan bentuk penampang pipa karena pengaruh temperatur dapat dilihat pada gambar 4.1 di bawah ini



Gambar

#### 4.1 Bentuk Pipa Setelah Pembebana

##### 4.6.1 Perhitungan Besar Ekspansi Yang Terjadi

Pipa yang mengalami peningkatan suhu akan mengalami perpanjangan dan dapat di hitung dengan persamaan berikut :

Bila koefisien muai panjang baja karbon (a) adalah  $14,4 \times 10^{-6}$  maka besar ekspansi yang terjadi dapat dihitung dengan

$$\Delta L = a \cdot \Delta T \cdot L$$

$$\Delta L = 14,4 \times 10^{-6} (30 - 18) \times 5000 \text{ mm} = 0,864 \text{ mm}$$

Keterangan

$\Delta L$ : Besar Ekspansi

a : Koefisien Muai

$\Delta T$ : Suhu T2 - T1

L : Panjang Pipa

## Bab V

### 5.1 Kesimpulan

Dari analisis yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Tiap loadcase output CAESAR II menunjukkan nilai tegangan yang berbeda tetapi masih dalam batas aman untuk dioperasikan
2. High stress pada keseluruhan desain perpipaan masih dalam batas aman sesuai dengan standart B31.3 Piping Proses
3. Tegangan atau stress pada desain pipa yang dianalisa yaitu node 240 sampai dengan 430 masih dapat dialiri fluida dengan batas aman allowable stress B31.3

### 5.2 Saran

Beberapa hal yang dapat disarankan pada akhir dari penelitian ini adalah:

- Diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh yang dapat mengakibatkan stress, selain akibat

aliran fluida. kemungkinan adanya sistem lain.

- Diperlukan monitoring sistem terhadap terjadinya stress pada pipa agar dapat menentukan life-time dari sistem lebih detail

### DAFTAR PUSTAKA

1. Bambang purwantana. staff. ugm.ac.id /KekuatanBahan.
2. Binsar Hariandja 1996. Sistem struktur beban sumbu aksial batang.
3. Donny Agustinus, 2009. Pengantar Stress analisis.
4. Fenn, 2012. Onshore Pipeline dan Offshore Pipeline
5. Ir. Raswari, 1986. Piping Handbook, Teknologi dan Perencanaan sitem perpipaan.
6. M. W. Kellogg Company pada tahun 1941. Design Of Piping Systems
7. Rao, Singiresu S, 2004, 51. Amplitudo
8. R. H. Tingey //Method Of Calculation Thermal Expansion Stresses In Piping.
9. S. Crocker dan A. 1945. Mc Cutchan. Grapho-analytical, Piping Handback terbitan Mc Graw-Hill Book Co, New York.
10. Smith. et al, 1987. Instalasi pipa